

NUEVO MODELO DE DISTRIBUCIÓN DE CORRIENTE CONTINUA EN BAJA TENSIÓN EN SMART BUILDINGS

Línea Temática 1: Redes Inteligentes/Medida Inteligente/Microrredes.

Luis Hernández Callejo¹, Yolanda Estepa Ramos² y Guillermo Martínez de Lucas³

(1) Referencias autor¹: CIEMAT, luis.hernandez@ciemat.es

(2) Referencias autor²: Universidad de Zaragoza, vesteparamos@gmail.com

(3) Referencias autor³: Universidad Politécnica de Madrid, guillermo.martinezd@alumnos.upm.es

RESUMEN

En este trabajo se revisan una serie de conceptos, todos ellos relacionados con las microrredes de baja tensión de tipo de corriente continua. Se exponen varias de las características propias de estas microrredes, diferentes tipos de cargas que alimentarían la microrred y posibles formas de conectar ésta al suministro. Se realiza un estudio de los niveles de potencia demandada más comunes, así como de las pérdidas en la red y las formas de evitar éstas, y cómo se generaría la corriente de la red de continua. Además, se exponen varios casos de estudios ya operativos sobre el modelo de continua.

Palabras clave: Microrred, LVDC, Smart Meter, Red Inteligente.

INTRODUCCIÓN

La distribución de corriente continua en baja tensión puede ser una tecnología adecuada para las redes inteligentes y microrredes, ya que en la actualidad contamos con fuentes de energía renovable que generan corriente continua, principalmente paneles fotovoltaicos. Esta energía, en lugar de ser inyectada directamente a la red, hasta ahora se ha hecho pasar por inversores para transformarla en corriente alterna, -tipo de corriente de las redes de distribución- Para, posteriormente, hacerla pasar por rectificadores para transformarla en corriente continua y poder dar así servicio a cargas de corriente continua. Figura 1a)

Todos estos pasos intermedios se podrían evitar, figura 1b), obteniendo así una red con una mayor eficiencia y una reducción de costes.

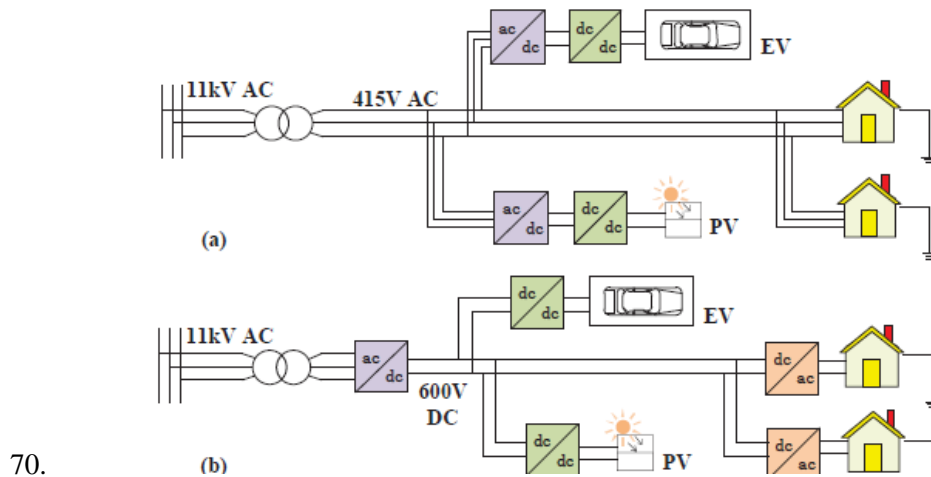


Figura 1: a) Red convencional b) Alternativa propuesta de una red de distribución toda en continua. Fuente [11]

VARIAS CARACTERÍSTICAS DE LAS MICRORREDES DE BAJA TENSIÓN TIPO DC

El esquema distribuido de los convertidores del lado de carga proporciona una mayor potencia y por tanto mejor calidad de suministro. Se pueden disponer varias formas de energía eléctrica con distintos niveles de tensión tales como monofásica 100 V, trifásica 200 V y 100 V DC (*Direct Current*), sin necesidad de utilizar transformadores.

Si el consumo de energía se convierte en algo más que una fuente de producción durante un aislamiento a largo plazo, la microrred en continua puede interrumpir el suministro de energía de algunas cargas intencionadamente mediante convertidores laterales con el fin de continuar suministrando energía para cargas que sean más importantes.

Cuando a la red le llega un pico de carga, la energía eléctrica puede ser compartida utilizando redes eléctricas adicionales entre convertidores laterales de carga.

Las oscilaciones de energía debidas a los generadores distribuidos a lo largo de toda la red, y las deficiencias en la potencia suministrada se pueden compensar en la línea de corriente continua por el uso de dispositivos de almacenamiento de energía. Las cargas no se ven afectadas por los valles, picos y armónicos de tensión ni por el desequilibrio de las fases de la línea trifásica. La calidad de la energía no se ve afectada por la corriente de irrupción, ni por los tipos de cargas.

Se espera obtener una mayor eficiencia que en una microrred en alterna, ya que no existirán pérdidas de conducción ni de conmutación de los transistores y tiristores de los rectificadores e inversores. Por otro lado, si la red tiene poca longitud, las pérdidas serán menores en corriente continua [10], tal como se aprecia en la figura 2 y en la figura 3 y si la red tiene poca longitud las pérdidas serán menores en continua.

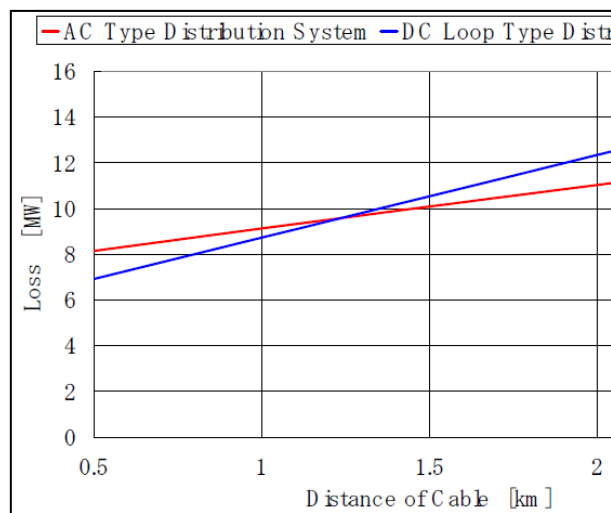


Figura 2: Pérdidas del cableado en función de su longitud. [10]

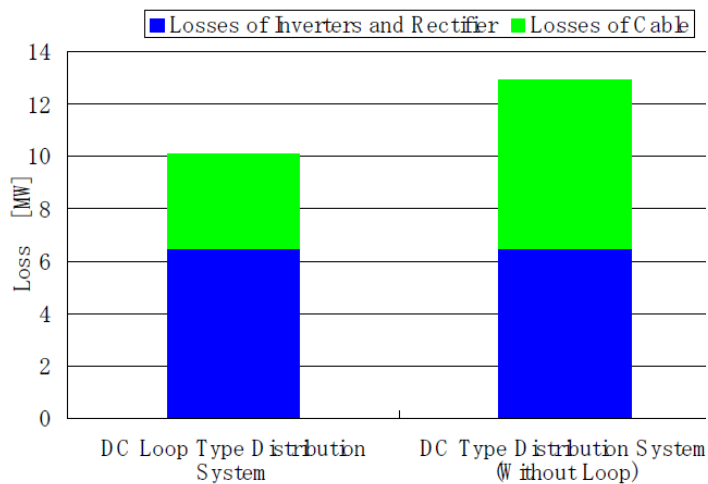


Figura 3: Pérdidas de inversores y rectificadores. [10]

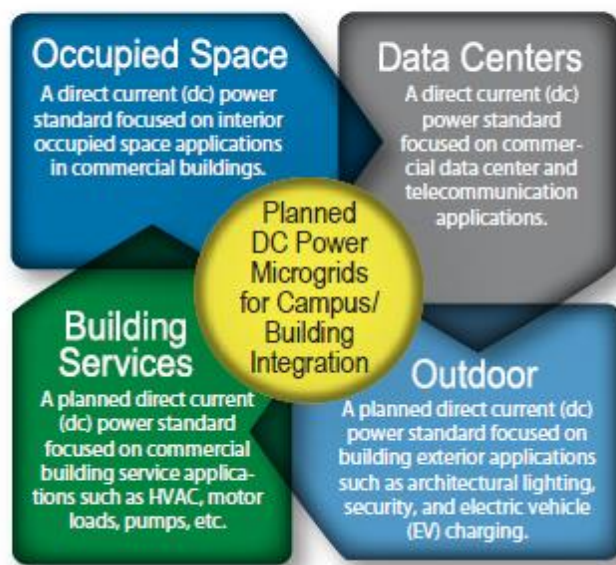


Figura 4: Esquema de la distinta integración de la red en DC. [5]

TIPOS DE CARGAS QUE ALIMENTAN LA RED DE DISTRIBUCIÓN EN CONTINUA

Los tipos de carga a los que se enfrenta el sistema de generación son muy diversos. En hogares o edificios de oficinas, encontramos generalmente cargas estáticas, debidas a multitud de dispositivos como ordenadores, teléfonos móviles, televisión, tabletas, e iluminación LED, lámparas fluorescentes compactas, hornos microondas, etc. Por otro lado, la carga que demandan industrias o laboratorios es de tipo dinámico –motores- con unidades de frecuencia variable.

Algunos de los problemas que presentan las microrredes son, entre otros, la dificultad de sincronización de los generadores distribuidos, la corriente de arranque que necesitan los transformadores, motores y generadores de inducción, y el desequilibrio que se puede provocar en la red trifásica (cargas y generadores conectados en una fase).

Para paliar dichos efectos negativos se han propuesto, entre otras medidas, la introducción de cargas inversoras (incluyen las conversiones AC/DC y DC/AC, *Alternating Current-Corriente Alterna*), la introducción de generadores con salida de corriente continua tales como paneles fotovoltaicos, pilas de combustible, velocidad variable de las palas de los aerogeneradores, micro turbina, motor de gas.

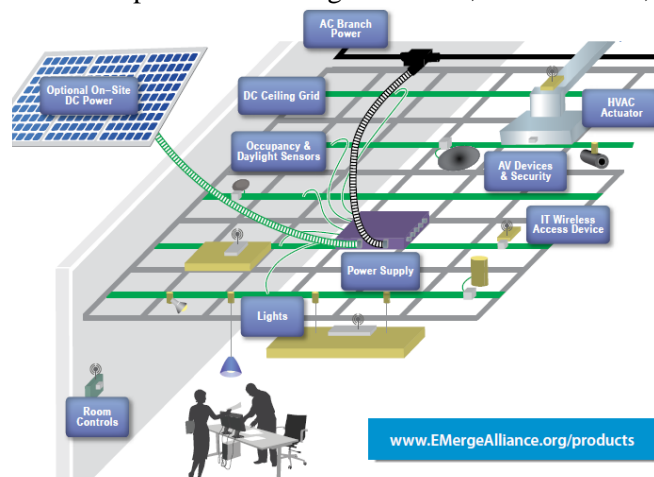


Figura 5: Esquema de distribución de la red en un edificio de oficinas. [5]

CIRCUITO E INTEGRACIÓN DE LA MICRORRED

La bibliografía sobre la estructura del sistema de compatibilidad, el modelado de carga, la calidad de la energía, la fiabilidad, el control y protecciones, y la evaluación de ahorro de energía para los sistemas de LVDC, muestra que los sistemas LVDC (Bajos Voltajes por Corriente Continua, *Low Voltage Direct Current*) se encuentran disponibles para dar servicio a la mayor parte de las cargas diseñadas para los sistemas de baja tensión en corriente alterna (*Low Voltage Alternating Current - LVAC*).

También puede controlar eficazmente el proceso transitorio para mantener estable el suministro.

Es posible, para los sistemas de LVDC, que puedan ser utilizados en el ámbito civil, con ejemplos como sub-districtos residenciales y centros comerciales.

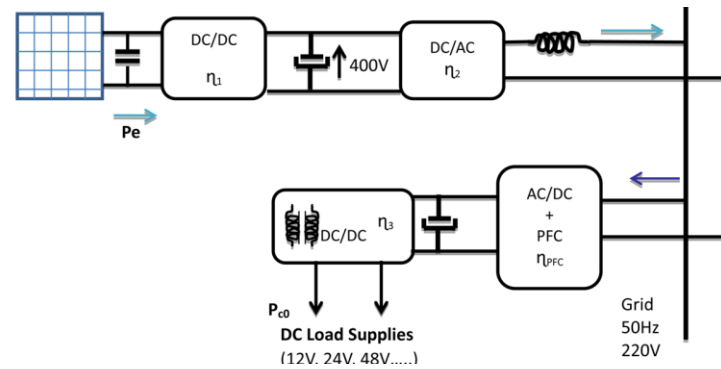


Figura 6. Configuración clásica del panel fotovoltaico y la carga de CC conectada a la red[1]

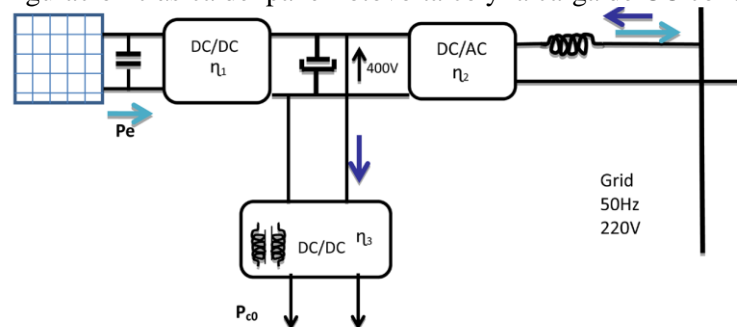


Figura 7: Alternativa de conexión para dar servicio desde una fuente de corriente continua y la red eléctrica trifásica. [1]

TRATAMIENTO DE LA POTENCIA

Las pérdidas de potencia ocasionadas en la red son a través del cableado, siguiendo el esquema mostrado a continuación, así como las pérdidas sufridas en dispositivos como inversores y rectificadores (IGBT's, MOSFET's)

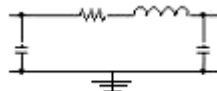


Figura 8: Esquema del modelo de circuito equivalente de una línea de red, con inductancia y resistencia en serie, y capacitancias en paralelo.

Las pérdidas debidas al flujo de corriente a través de inversores y rectificadores se eliminarían por completo al no necesitar transformar la corriente alterna en continua y vv. Estas pérdidas por inversor son pequeñas, alrededor del 1.24% con IGBT, 0.26% con MOSFET 5-level, 0.16% con MOSFET 7-level (Pérdidas en cuatro IGBT son de alrededor de $93W \times 4 = 372 W$, pérdidas en MOSFET 5-level $19.5W \times 4 = 78W$, y pérdidas en MOSFET 7-level $12W \times 4 = 48W$, en una red alimentada a 600V y con una corriente media de 50 A, es decir, una red con una potencia de 30kW). Todas estas pérdidas deberían ser englobadas en la dimensión total de la zona a la que se da servicio, por ejemplo una gran zona residencial, donde la suma de las pérdidas de todos los inversores instalados comenzaría a cobrar importancia.

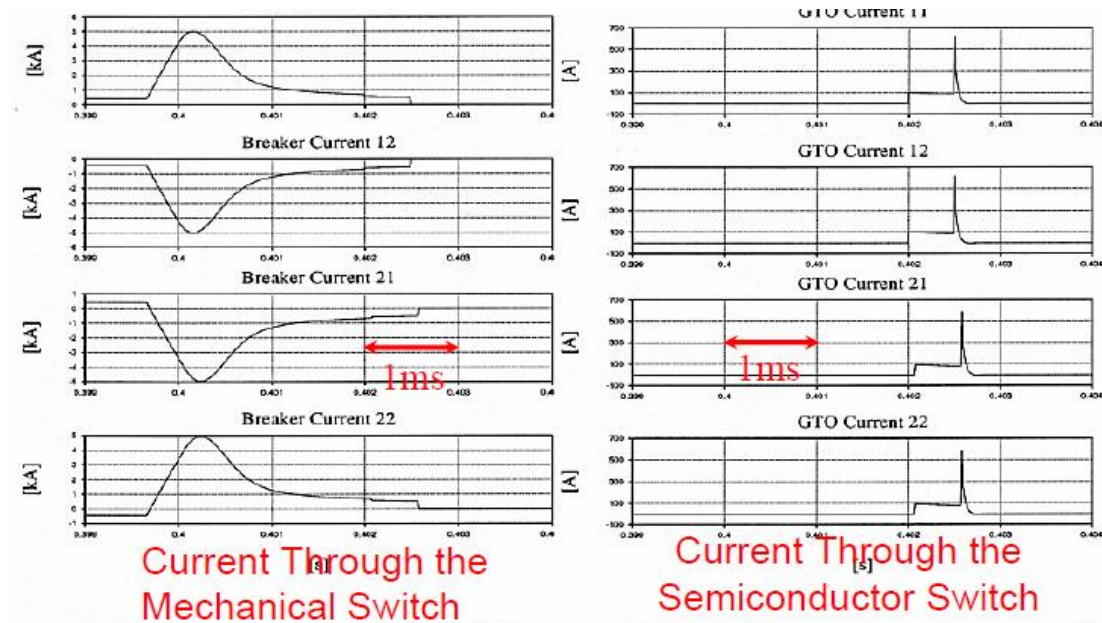


Figura 9: Los avances en Switches con semiconductores reducen en gran medida el tiempo de conmutación lo que hace que tengan unas pérdidas muy pequeñas, pero aún así sigue habiendo pérdidas. [10]

GENERACIÓN DE CORRIENTE

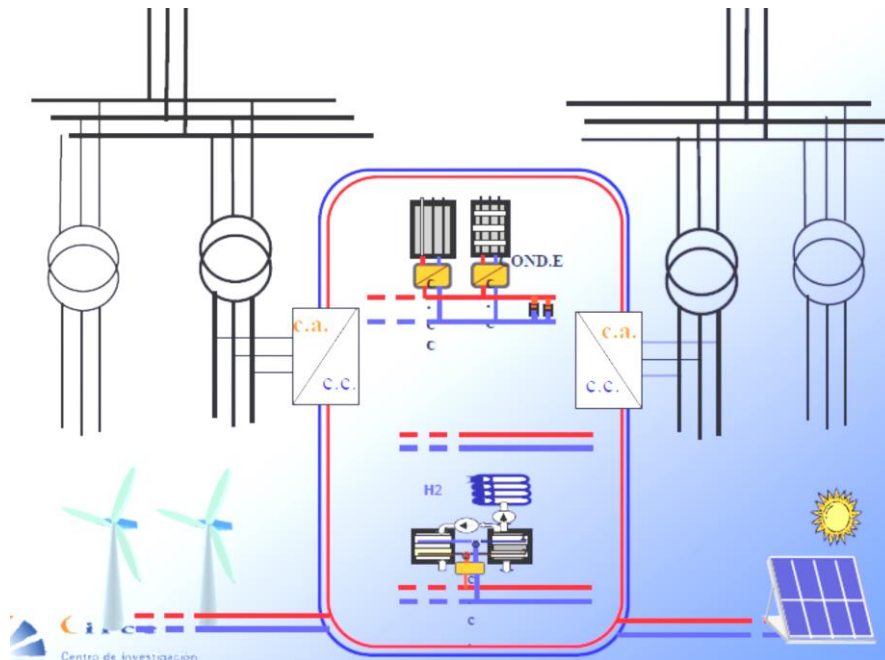


Figura 10: Alimentación a cargas monofásicas desde la red trifásica y generación monofásica desde fuentes renovables. [9]

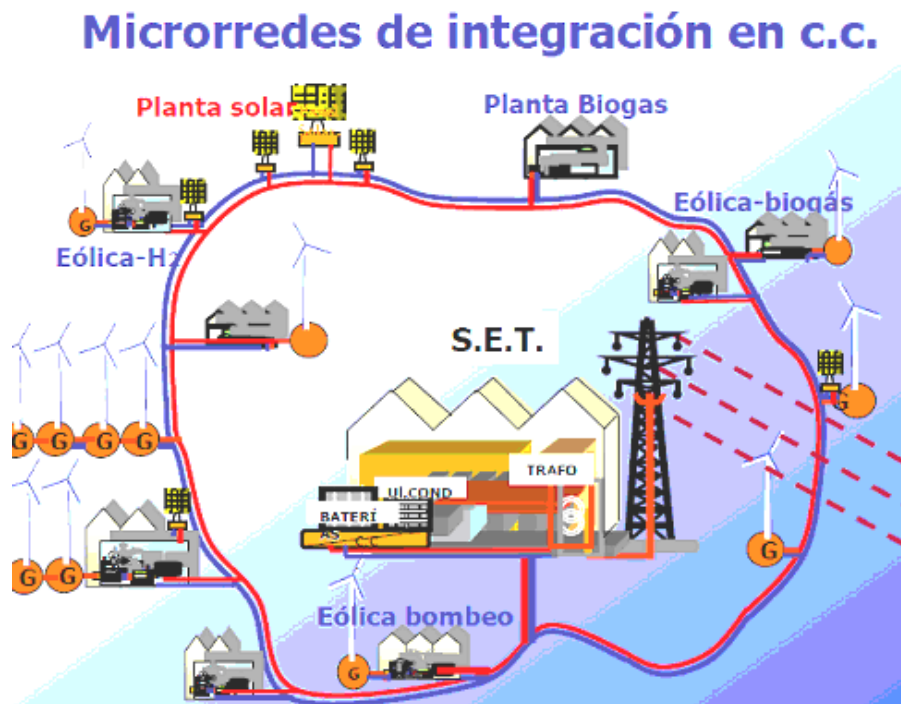


Figura 11: Distintos métodos de generación en continua [9]

La corriente en forma continua podría ser el futuro para los edificios de energía cero, siendo esta más eficiente en la integración con las fuentes renovables en continua. La distribución en LVDC es una solución prometedora, cuyos beneficios son una capacidad de transferencia de gran potencia y mejoras de seguridad y calidad de la potencia.

La LVDC desarrolla redes de distribución hacia la red inteligente y proporciona nuevas oportunidades para el desarrollo de la distribución de electricidad. Entre otros beneficios, destaca la gran capacidad de transferencia de potencia con baja tensión y mejoras en la fiabilidad y la calidad de la energía. Por otra parte, proporciona un punto de conexión fácil para los almacenamientos de generación y la energía distribuida.

Por otro lado, el LVDC cumple la limitación de tensión, que viene dada por la Directiva de tensión 2006/95/CE, que define el máximo valor de baja tensión hasta 1000 V AC y 1500 V DC, estima que los presentes cables de AC también se pueden utilizar con DC.

En los estudios realizados, se ha usado un sistema de tipo point-to-point (entre nudos). El punto óptimo entre la capacidad de suministro de corriente de corto circuito y la caída de tensión permitida se ajusta entre 550 a 600 VAC. La corriente máxima que puede circular por cierto modelo de conductores es de 580 A. Tras estudios de redes, el uso de un límite de la caída de tensión de 6.9% parece ser la alternativa tecnológicamente más razonable. El LVDC tiene una capacidad de transferencia de potencia suficientemente alta, y además es posible reemplazar múltiples ramales cortos y de baja potencia con una distribución LVDC

CASOS OPERATIVOS EN DC

Existe un proyecto llamado "*Stroomversnelling*", con el objetivo de tener viviendas de energía cero, compuesto por prototipos de casas en las que se ha instalado un sistema centralizado de DC. Este sistema DC hace posible una red DC inteligente. Éste se conecta directamente a las tomas de corriente USB a través de una red de corriente continua. El plan es desarrollar el sistema de DC en tres pasos en una red inteligente completa para toda la casa, a partir de paneles solares para el conjunto de tomas de corriente USB y la iluminación LED. Por tanto, la red de CA actual ya no será necesaria.

Las casas prototipo en *Soesterberg* son también las primeras en tener tomas de corriente USB que funcionan con un sistema de DC.



Figura 12: Toma de corriente USB en DC. [2]

También se han puesto en marcha los primeros proyectos piloto para la primera red inteligente de DC para alumbrado público. Se trata de una red de DC completa que conecta las luminarias de DC a una red inteligente que se encarga del control y funciona íntegramente en DC. Ya existen contratos para el primer proyecto piloto para sustituir el alumbrado público existente por luminarias LED, quedando integradas en la red inteligente.

Stadskanaal será el primer municipio con alumbrado público DC redes inteligentes.

Una de las ventajas del sistema de DC inteligente es que la transmisión de la electricidad se combina con la comunicación, con lo que se puede controlar por separado, y por tanto se produce un ahorro en el uso de energía eléctrica, y por tanto en costes.



Figura 13: Luminaria urbana. [3]

Se ha planificado un nuevo proyecto de red inteligente DC en Ciudad del Cabo que implementará y desarrollará una red inteligente en la DC a 350V DC. Los sistemas de DC resuelven problemas con cargas de alta potencia, tales como estufas, reduciendo así el riesgo de incendio. En las casas, las tomas de corriente que se utilizan son puertos USB estándar. El sistema VDC 350 ofrece distintas opciones para el almacenamiento local o centralizado, siendo adecuado para cargar los motores eléctricos y los scooters, por ejemplo.

Sigue habiendo muy recientemente, a fecha de julio del 2014, charlas y conferencias sobre el potencial de las redes de corriente continua y las redes inteligentes [4].

CONCLUSIÓN

Se ha presentado una nueva línea de investigación que surge a partir de la tecnología de las microrredes, la alimentación a los consumidores a través de un bus de continua. Esto conlleva que no haya necesidad de transformación y transporte intermedio en corriente alterna obteniendo así una red con menos pérdidas y por

consiguiente con un menor coste para los consumidores. Para que esta idea se ponga en práctica habría que tener en cuenta la capacidad de control sobre las fuentes de energía renovable para mantener equilibrada la red.

Serían necesarios ensayos para comprobar la eficiencia de la corriente continua frente a la corriente alterna, así como trabajar sobre proyectos ya realizados en DC como fuente de información para seguir investigando y desarrollando esta nueva idea.

Otra posible solución sería un edificio con dispositivos finales con alimentación doble, para posibilitar alimentarlos con corriente alterna y corriente continua. Además, el edificio tendría generación en continua (fotovoltaica, baterías, etc.) inyectando en un bus de continua desde donde se alimentarían las cargas directamente en continua, sin las etapas DC-AC en generación y en carga. En esta instalación piloto se podría plantear disponer de los siguientes elementos:

- Bus de continua y bus de alterna (duplicidad de instalación eléctrica) y protecciones correspondientes de ambas redes.
- Generación fotovoltaica en fachada de edificio.
- Bancada de baterías con regulador incorporado.
- Sala de servidores para CPD con alimentación eléctrica dual (entrada en continua directa y a través de fuente de alimentación).
- Sistema de aire acondicionado (bomba de calor) con sistema de alimentación eléctrica dual.
- Sala con ordenadores de sobremesa con sistema de alimentación eléctrica dual.
- *Smart Meters* y Concentradores de Datos para registrar la medida eléctrica, tanto del bus de continua como de alterna.

De esta forma, se dispondrá de un “*living-lab*” donde poder experimentar y realizar trabajos de investigación de manera conjunta. Este edificio podrá considerarse emblemático, posibilitando visitas externas y permitiendo a los alumnos de Grado realizar experiencias punteras que sirvan para crear nuevas líneas de I+D.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1]. Ammous, A., Morel, H.; LVDC: An Efficient Energy Solution for On-Grid Photovoltaic Applications, In Smart Grid and Renewable Energy, Scientific Research, **April 2014**, [Vol.5 No.4](#), PP. 63-76, [April 2014](#).
- [2]. Direct Current bv, May 14, 2014. *Direct Current*, <http://www.directcurrent.eu/en/news/news-archive/155-dc-grid-at-home-becomes-reality>
- [3]. Direct Current bv, May 23, 2014. *Direct Current*, <http://www.directcurrent.eu/en/news/news-archive/112-first-dc-smart-grid-for-public-lighting>
- [4]. Direct Current bv, July 8, 2014. *Direct Current*, <http://www.directcurrent.eu/en/news/news-archive/159-dc-smart-grids-in-south-africa>
- [5]. EMERGE Alliance, DC Microgrids, Advanced Power Distribution Platforms for Flexibility, Savings & Sustainability in Buildings, www.EMergeAlliance.org, <https://www.sylvania.com/en-us/applications/dc-microgrid/Pages/default.aspx>.
- [6]. Hakala, T., Järventausta, P., Lähdeaho, T., The utilization potential of LVDC distribution, In *22nd International Conference on Electricity Distribution*, Stockholm, Sweden. **June 2013**. Paper 1151,10-13.
- [7]. Li, L., Yong, J., Zeng, L., and Wang, X., Investigation on the System Grounding Types for Low Voltage Direct Current System, In [Electrical Power & Energy Conference \(EPEC\)](#), **2013**, Halifax, NS, Canada.

- [8]. Prasenjit Basak, Dr. S. Chowdhury, Dr. S.P. Chowdhury, and Dr. S. Halder nee Dey, Simulation of Microgrid in the Perspective of Integration of Distributed Energy Resources, In *Energy, Automation, and Signal (ICEAS)*, Bhubaneswar, Odisha, India **December 2011**.
- [9]. Sanz, M., In *IV Simposium sobre sostenibilidad de Energías, Integración de Energías Renovables en C.C., generación distribuida*, Zaragoza, Spain, **December 2006**.
- [10]. Toshifumi, I., In *Advantages and Circuit Configuration of a DC Microgrid, Symposium on Microgrids*, Montreal **2006**.
- [11]. Zhong, Y., Finney, S., Holliday, D., An Investigation of High Efficiency DC-AC Converters for LVDC Distribution Networks, In *conference on Power Electronics, Machines and Drives PEMD*, Manchester, UK, **April 2014**.